



EESTI MAAÜLIKOOL

Tehnikainstituut

Rait Valgma

TUULEENERGEETIKA EUROOPAS

Wind Energy in Europe

Bakalaureusetöö

Tehnika ja tehnoloogia õppekava

Juhendaja: Andres Annuk, *PhD*

Tartu 2018

Eesti Maaülikool Kreutzwaldi 1, Tartu 51014		Bakalaureusetöö	
Autor: Rait Valgma		Õppekava: Energiakasutus	
Pealkiri: Tuuleenergeetika Euroopas			
Lehekülgi: 43	Jooniseid: 23	Tabeleid: 3	Lisasid: 0
<p>Osakond/ Õppetool: energiakasutuse õppetool</p> <p>ETIS-e teadusvaldkond ja CERC S-i kood: 4. Loodusteadused ja tehnika; 4.17. Energeetikaalased uuringud; T140 Energeetika</p> <p>Juhendaja: Andres Annuk, <i>PhD</i></p> <p>Kaitsmiskoht ja -aasta: Eesti Maaülikool, 2018</p> <p>Töö keskendub Euroopa tuuleenergeetika olukorra välja selgitamisele. Eesmärk on anda ülevaade sellest, milline on tuuleenergia kasutamine. Töös kasutati avalikke andmeid erinevate ametlike Euroopa organisatsioonide poolt. Metoodika seisneb andmete analüüsis ning uurimusobjektide kõrvutamises omavahel, võttes aluseks sarnased või samad parameetrid. Töö annab ülevaate sellest, milline on ajalooliselt olnud tuuleenergia laienemine Euroopas ning kuhu see välja jõudnud on. Välja on toodud arengut soodustavad ja pärssivad muutujad. Ajalooliste andmete põhjal on tehtud prognoosis valdkonna arengust aastani 2025.</p>			
Märksõnad: tuuleenergia, Euroopa, olukord, prognoos			

Estonian University of Life Sciences Kreutzwaldi 1, Tartu 51014		Bachelor's Thesis	
Author: Rait Valgma		Curriculum: Energy Application Engineering	
Title: Wind Energy in Europe			
Pages: 43	Figures: 23	Tables: 3	Appendixes: 0
Department/ Chair: Chair of Energy Application Engineering Field of research and (CERC S) code: 4. Natural Sciences and Engineering; 4.17 Energetic Research; T140 Energy Research Supervisor: Andres Annuk, <i>PhD</i> Place and date: Estonian University of Life Sciences, 2018			
The thesis focuses on explaining the European wind power situation. The purpose is to give an overview of how wind power is being used. Public records from official public organizations involved in this field were used to create this thesis. It also gives an overview of the historical developments of wind power in Europe and the situation today. Highlighted are variables that both encourage and inhibit growth in this sector. Based on historical data, predictions are given up until 2025.			
Märksõnad: wind power, Europe, situation, prediction			

SISUKORD

SISSEJUHATUS.....	5
1. RIIKIDE VALIK JA TEHNOLOOGIA SELGITUS	6
1.1. Riikide valiku selgitus.....	6
2. ÜLEVAADE MINEVIKUST	8
2.1. Tuuleenergeetika areng Euroopas	8
2.2. Tuuleenergeetika areng Taani näitel	11
2.3. Tuuleenergeetika areng Iirimaa näitel	13
2.4. Tuuleenergeetika areng Portugali näitel.....	14
2.5. Tuuleenergeetika areng Hispaania näitel	15
2.6. Tuuleenergeetika areng Eesti näitel	17
3. ÜLEVAADE RIIKIDEST TÄNASEL PÄEVAL.....	19
3.1. Olukord Euroopas	19
3.2. Olukord Taanis	21
3.3. Olukord Iirimaa	23
3.4 Olukord Portugalis	24
3.5. Olukord Hispaanias	24
3.6. Olukord Eestis	26
4. PROGNOOSID	28
4.1. Prognoos Euroopa Liidule.....	28
4.2. Prognoos Taanile.....	30
4.3. Prognoos Iirimaa	32
4.4. Prognoos Portugalile	33
4.5 Prognoos Hispaaniale.....	35
4.6. Prognoos Eestile	36
KOKKUVÕTE.....	39
KASUTATUD KIRJANDUS	41

SISSEJUHATUS

Käesoleva töö eesmärk on uurida tuuleenergeetika olukorda Euroopas. See hõlmab endas ülevaadet, et millisel määral tuuleenergiat kasutatakse. Siiski ei ole selles uurimustöös mitte eraldiseisvalt vaadeldud iga riigi tuuleenergia tootmist ning tarbimist, vaid on vaadeldud suurimaid tootjaid (osakaalu järgi kogu elektrienergia tootmisest) ning lisaks on riikide valimisse kaasatud ka Eesti Vabariik. Säärane valik on tehtud just seetõttu, et anda paremini aimu, mis on nende riikide edukuse taga ning et neid riike saaks käsitleda kui eeskujusid, millest tuuleenergeetika tootmise vallas eeskuju võtta. Lisaks on ka lühike ülevaade antud Euroopa olukorrale üleüldiselt läbi Euroopa Liidu.

Töö keskendub selleks aastaks välja kujunenud olukorrale ning sellele, et milline on olukord olnud minevikus. Lisaks on töös välja toodud ka olemasolevate andmete põhjal koostatud ülevaatlik prognoos tulevikuks, täpsemalt öeldes prognoos aastaks 2025.

1. RIIKIDE VALIK JA TEHNOLOOGIA SELGITUS

Käesolevas peatükis on välja toodud rikide nimistu, mille põhjal antud ülevaade koostatakse. Samuti on ära põhjendatud riikide valik ehk mis parameetritest lähtuti.

1.1. Riikide valiku selgitus

Antud uurimustöösse ei ole kaasatud mitte igat Euroopa maailmajaos või majanduspiirkonnas paiknevat riiki, vaid on vaadeldud Eesti Vabariiki ning muuhulgas ka nelja kõige suuremat tuuleenergia tootjat (osakaalu järgi kogu elektrienergia tootmisest) ning seda Euroopa Liidus. Riikide valikul lähtuti just osakaalust, mitte kogutoodangu mahust, sest osakaal annab objektiivsema ülevaate sellest, et kui oluline tuuleenergia mingi riigi elektritootmises on. Samuti käsitledes selle edetabeli tipus asuvaid riike, on paremini võimalik välja tuua, mis nende riikide edukuse taga on.

Eesti on sellesse valikusse võetud puhtalt sellepärast, et aru saada, kuidas meie riik edetabeli tippudega konkureerib selles vallas. 2016. aasta seisuga on nende riikide järjestus koos elektrienergia tootmise osakaaluga järgnevad [1]:

1. Taani – 37 %
2. Iirimaa – 27 %
3. Portugal – 25 %
4. Hispaania – 19 %

Eesti kohta peab lähtuma viimastest avaldatud andmetest. 2016. aasta seisuga toodeti Eestis 589 GWh tuuleenergiat, mis moodustas 41,7 % kogu taastuvenergia toodangust [2]. Otsest protsenti selles viites välja ei toodud, küll aga on võimalik see tulemus viite 2 andmete järgi arvutada. Selleks leian viite 2 järgi kogu elektrienergia toodangu aastas ning siis avaldan sealt osakaalu.

$$E_{taastuv} = \frac{E_{tuul}}{0,417} = \frac{589}{0,417} = 1412,47 \text{ GWh} \quad (1.1)$$

kus E_{tuul} – tuuleenergia kogumaht Eestis aastal 2016; $E_{tuul}=589$ GWh;

$E_{taastuv}$ – taastuvenergia kogumaht Eestis aastal 2016.

Kuna Tuuleenergia Assotsiatsiooni andmetel moodustas taastuvenergia kogumaht kogu elektrienergia tarbimisest 15,1 % [2], siis GWh-des oleks kogu elektrienergia tarbimine järgnev:

$$E_{kogu} = \frac{E_{taastuv}}{0,151} = \frac{1412,47}{0,151} = 9354,106 \text{ GWh} \quad (1.2)$$

kus $E_{taastuv}$ – taastuvenergia osakaal Eestis aastal 2016; $E_{taastuv}=1412,47$ GWh;

E_{kogu} – kogu elektrienergia tarbimine Eestis aastal 2016.

Nende andmete põhjal oleks kogu tuuleenergia tootmise osakaal kogutoodangust järgnev:

$$E_{osakaal} = \frac{E_{tuul}}{E_{kogu}} \cdot 100\% = \frac{589}{9354,106} \cdot 100\% = 6,2967 \% \quad (1.3)$$

kus E_{tuul} – tuuleenergia toodangu maht Eestis aastal 2016; $E_{tuul}=589$ GWh;

E_{kogu} – kogu elektritoodangu maht Eestis aastal 2016; $E_{kogu}=9354,106$ GWh.

Nagu sellest arvutustulemusest näha võib, on Eestis toodetud tuuleenergia osakaal kogu elektritoodangust üsnagi väike, kui võrrelda neid andmeid edetabelis esimeses nelikus paikneva riigiga.

Täpsem ülevaade olevikust on esitatud hilisemas peatükis, täpsemalt öeldes sisupeatükis 3. Järgmises peatükis aga on välja toodud nende viie vaadeldava riigi areng tuuleenergeetika vallas kuni tänapäevani.

2. ÜLEVAADE MINEVIKUST

Selles peatükis on välja toodud lühiülevaade tuuleenergeetika arengu ajaloost töös käsitletud riikidele ning lisaks Euroopale üleüldiselt.

2.1. Tuuleenergeetika areng Euroopas

Tuuleenergia areng Euroopas algas Külma Sõja perioodil. Näiteks installeeris Taani 1979. aastal esimese tuuliku [3]. 1982. aastal installeeriti Kreekas esimene tuulepark. See koosnes viiest 20 kW võimsusega tuulikust. Aastal 1984 toimus ka esimene Euroopa Tuuleenergia Assotsiatsiooni (ing k.European Wind Energy Association, akronüüm EWEA) konverents. Kuni aastani 1990 arendati järk-järgult välja uusi tuulikuid. Näiteks otsustas ka Taani firma Vestas aastal 1987, et keskendubki ainult tuuleenergiale. 1990. aastal installeeriti tollal suurim tuulepark Jutlandis, Taanis. See koosnes 42-st 300 kW tuulikust. Kuna 1990 oli ka esimene aasta, mil toimus suur kasv tuuleenergia tootmisvõimekuses üle Euroopa, siis seadis EWEA aastal 1991 ka eesmärgi jõuda aastaks 2000 4 GW-ni, aastaks 2005 11,5 GW-ni, aastaks 2010 25 GW-ni ning aastaks 2030 100 GW-ni. Etteruttavalt võib öelda, et kõik määratud tootmisvõimsused on juba saavutatud ning esimesed 3 saavutati ka enneaegselt. Üks verstaposte on 1993, mil saavutati esmakordselt Euroopa Liidus tuuleparkide koguvõimsus üle 1 GW. [4]

Oluliseks Euroopa tuuleenergia arengus võib pidada ka Middelgrunden tuulepargi rajamist aastal 2000, kuna see oli esimene omalaadsete seast – nimelt rajati antud park rannikust eemale merevette. Tuulepark koosneb 20-st 2 MW võimsusega tuulikust. Allpool on lisatud ka pilt antud jaamast. [4]



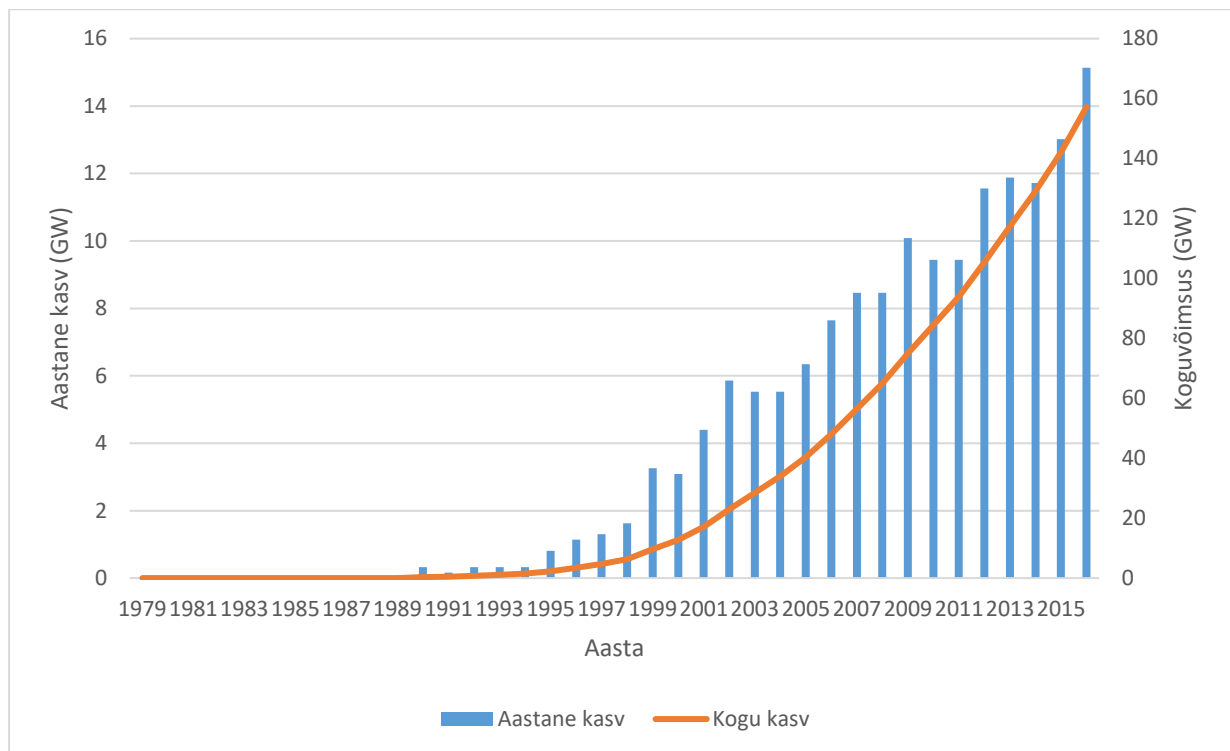
Joonis 1. Middelgrunden tuulejaam [4].

EWEA seab vahepealsetel aastatel aeg-ajalt uusi eesmäärke (näiteks 2003 sooviti aastaks 2010 jõuda 75 GW-ni; etteruttavalt võib öelda, et see ka saavutati). Aastal 2007 installeeriti Emdenis, Saksamaal ka tollal suurima võimsusega tuulik – Enercon E-126. Tolle võimsus on 7 MW. Allpool on lisatud ka pilt sellest tuulikust. [4]



Joonis 2. Enercon E-126 Emdenis, Saksamaal [4].

Aastaks 2012 ületati esmakordselt Euroopa Liidus ka 100 GW-i piir. Et aga täpsemalt aimu saada sellest, kuidas koguvõimsused aastast aastasse kasvasid, on alloleval joonisel välja toodud ka tuuleenergia koguvõimsuste areng. Seal on ära märgitud nii iga-aastane kasv kui ka tootmisvõimsuse koguhulk aastate lõikes. [4]



Joonis 3. Tuuleenergia võimsuste kasv Euroopa Liidus aastatel 1979 kuni 2016 [4].

Sellel joonisel on ilusti näha, et aastal 1993 ületati 1 GW piir. 10 GW piir ületati aastal 2012, 25 GW piir aastal 2003, 50 GW piir aastal 2007, 100 GW piir aastal 2012. Sellelt jooniselt tuleb ka välja, et majanduskrahh Euroopas üleüldist arengut tegelikult isegi ei pidurdanud. Vaadates aastast kasvu, siis tegelikult kasvas koguvõimsus aastal 2009 rohkem kui 2008. aastal. Samuti olid ka 2010 ja 2011 suurema kasvuga kui 2008. Aastal 2012, kui ületati 100 GW piir, kiirenes progress veelgi. Hetkeseisuga ongi järgmine eesmärk jõuda aastaks 2020 192 GW-ni.

Järgnevates alapeatükkides on aga täpsemalt välja toodud Taani, Iirimaa, Portugali, Hispaania ja Eesti arengud tuuleenergeetika vallas. Esimesena ongi see ülevaade tehtud Taani kohta ning see kajastub järgmises alapeatükis.

2.2. Tuuleenergeetika areng Taani näitel

Areng selles vallas algas Taanis 1970. aastatel. Ilmselt oli suurimaks põhjuseks taastuenergiaallikate poole liikumisel sama kümnendi naftakriis (mis toimus aastal 1973). Selle tulemusena installeeriti 1979. aastal ka esimene turbiin, mille võimsuseks oli 30 kW. [3]

Konkreetne mudel oli toodetud koduse ettevõtte Vestas poolt ning turbiini mark oli Vestas V17-75, millest on allpool ka pilt välja toodud [5].



Joonis 4. Vestas V17-75.

Et aga hoog selles vallas seisma ei jääks, julgustas Taani valitsus omalt poolt uute turbiinide tootmist. Näiteks kompenseeris Taani valitsus algselt kuni 30 % installatsioonikuludest [6]. Turbiinide tootmistempo kasvas ning 1984. aastal alustas kodumaine tootja Vestas 75 kW seadmete tootmisega [4].

Kindlasti aitas taastuenergiaallikate suuremale levikule Taanis kaasa ka fakt, et järgneval aastal keelustati riigis igasugune tuumaenergia kasutamine. Liikumine tuumaenergia kasutamise vastu oli tegelikkuses alanud lausa 11 aastat varem (aastal 1976), kuid 1985.

aastal parlamendis vastu võetud otsus välistas igasuguse võimaluse tuumaenergia kasutamiseks. [6]

Aastal 1990 installeeriti Jutlandi piirkonda tolle aja kohta kõige suurem tuulepark. Kasutati tootja Nordtank poolt valmistatud 300 kW seadmeid ning neid paigaldati alale 42 tükki. Allpool on välja toodud ka pilt sellest, kuidas neid seadmeid monteeriti. [4]



Joonis 5. Tuuleturbiini monteerimine Jutlandi piirkonnas 1990. aastal.

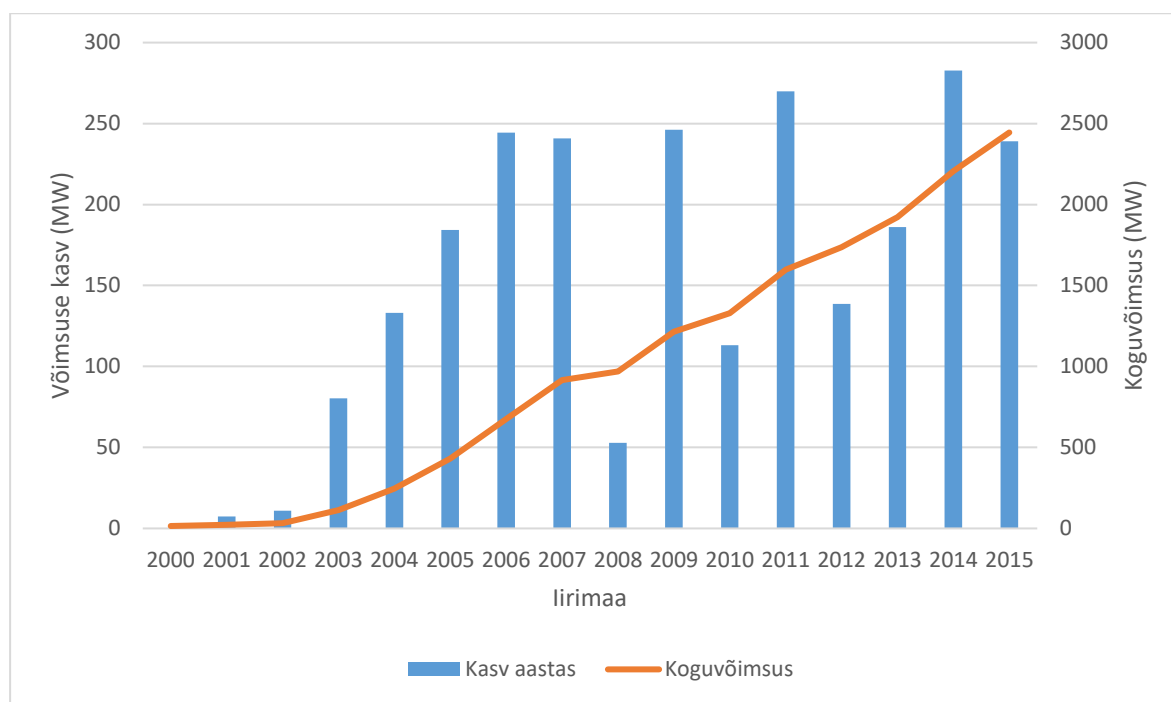
1991. aastal konstrueeriti Vindeby piirkonnas merepealne tuulepark, mis koosnes 11 turbiinist; iga turbiini võimsus oli 450 kW. Sellise pideva arengu tulemusena jõuti aastaks 2010 punkti, kus tuuleenergia osakaal kogu elektritoodangusse ületas 20% piiri. [4]. 2014. aasta andmete põhjal oli tuuleenergia tootmisvõimsus 4890 MW [3].

Järgmises alapeatükis on välja toodud ülevaade Iirimaa arengust selles vallas.

2.3. Tuuleenergeetika areng Iirimaa näitel

Iirimaa puhul algas investeerimine tuuleenergeetikasse võrreldes Taaniga tunduvalt hiljem, alles 1997. aastal [7]. Kuigi esimese installeeritud tuulepargi võimsus oli 15 MW ning seega esimestest Taani tuuleparkidest tunduvalt parem, siis suuri installatsioone ei teostatud jällegi tükk aega.

Järgmised investeeringud tehti 2001. ja 2002. aastal. Nende kahe aasta jooksul oli progress üsnagi aeglane – kahe aastaga installeeriti tuuleparke, mille koguvõimsused jäid alla 50 MW. Samas juba 2003. aastal see muutus ning installeeriti kokku ligi 75 MW koguvõimsusega tuuleparke. Allpool on ka välja toodud graafik, milles on näidatud aastate lõikes uute installeeritud jaamade võimsused ning tuuleenergiajaamade koguvõimsuse kasv. [7, 8]



Joonis 6. Tuuleenergeetika areng Iirimaa aastatel 2000–2015.

Graafikult on näha, et ka peale 2003. aastat toimus areng uute tuuleparkide paigaldamise osas. Kasvu aeglustumine toimus aga 2008. aastal, mil paigaldatud tuulikute koguvõimsus oli ligi 5 korda väiksem kui eelneval aastal. Siin mängis ilmselt rolli majanduskriis. Samas on ka näha, et aastaks 2013 oli olukord stabiliseerunud ning aastaks 2015 jõutigi olukorda, kus tuulikute koguvõimsus oli ligikaudu 2450 MW.

Järgnevas alapeatükis on aga vaadeldud Portugali arengut tuuleenergeetika vallas kuni aastani 2016.

2.4. Tuuleenergeetika areng Portugali näitel

Portugali puhul keskenduti varasemalt pigem teistele taastuvenergiaallikatele (peamiselt hüdroenergiale). Siiski on Portugali areng tuuleenergia vallas olnud ka ligi viimase 15 aasta jooksul üsnagi suur. Sellegipoolest moodustas alles 2005. aastal tuuleenergia tootmine ainult 20 % kogu taastuvenergia tootmisest. Samal ajal taastuvenergia ise moodustas kogu tootmisest ainult 16 %. Kogu elektritoodang tol aastal oli 8616 GWh. [9]

Allpool on ära näidatud, kui palju moodustas taastuvenergia kogu tootmisest aastal 2005.

$$E_{taastuv} = E \cdot 16\% = 8616 \cdot 0,16 = 1378,6 \text{ GWh} \quad (2.1)$$

kus $E_{taastuv}$ – toodetud taastuvenergia maht aastal 2005 Portugalis;

E – toodetud elektrienergia maht aastal 2005 Portugalis.

Järgnevalt on ära näidatud, kui suur oli toodetud tuuleenergia maht aastal 2005.

$$E_{tuul} = E_{taastuv} \cdot 20\% = 1378,6 \cdot 0,2 = 275,71 \text{ GWh} \quad (2.2)$$

kus $E_{taastuv}$ – toodetud taastuvenergia maht aastal 2005 Portugalis;

E_{tuul} – toodetud tuuleenergia maht aastal 2005 Portugalis.

Nende arvutuste põhjal on leitud ka, et kui palju moodustas aastal 2005 tuuleenergia tootmine kogu elektritoodangust.

$$E_{\%} = \frac{E_{tuul}}{E} \cdot 100\% = \frac{275,71}{8616} \cdot 100\% = 3,2\% \quad (2.3)$$

kus $E_{\%}$ - tuuleenergia osakaal kogu tootmisest aastal 2005 Portugalis;

E_{tuul} – toodetud tuuleenergia maht aastal 2005 Portugalis;

E – toodetud elektrienergia maht aastal 2005 Portugalis.

Nagu arvutused näitavad, siis veel aastal 2005 moodustas tuuleenergia toodang kogu elektritoodangust ainult 3,2 %. Samas juba aastaks 2013 oli olukord tunduvalt paranenud. Nimelt 2013. aasta seisuga oli Portugali erinevate tuuleenergiajaamade koguvõimsus 4724 MW [10].

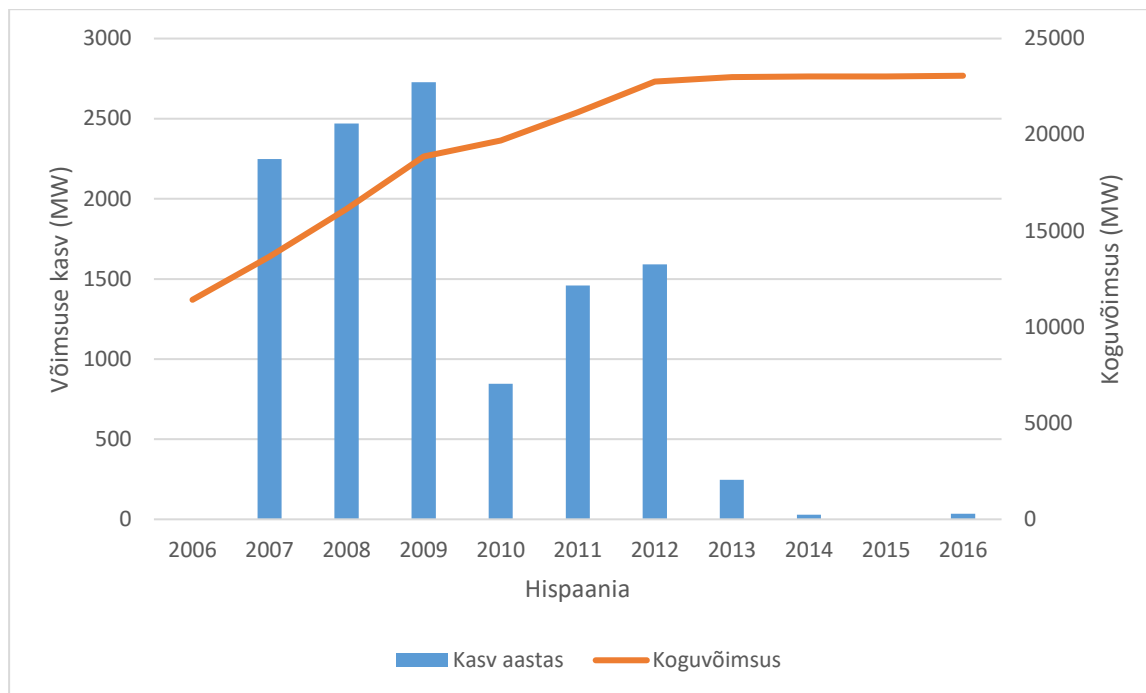
Täna seaks päevaks on aga jõutud olukorda, kus kogu tuuleenergiajaamade võimsus on 5313 MW. Näitena võib tuua ka 2016. aasta, mil nende jaamade kogu elektritoodang oli 12,5 TWh. [11]

Viimase edetabelis oleva riigi kohta on lühiülevaade ajaloost antud järgmises alapeatükis.

2.5. Tuuleenergeetika areng Hispaania näitel

Portugali naaber Hispaania on puhtalt riigipindala poolest suurem – sellest tulenevalt on ka tuuleparkide võimsustes märgatav vahe sees. Sellegipoolest ei ole Hispaania arengus seisma jäänud, vaid nagu ka idanaaber Portugal on ka Hispaania enda tuuleparki aastatega edasi arendanud.

Allpool on välja toodud graafik, mis näitab alates aastast 2006 kuni aastani 2016 tuuleenergiajaamade koguvõimsuse kasvu Hispaanias [13].



Joonis 7. Tuuleenergiajaamade koguvõimsus Hispaanias aastatel 2006 kuni 2016 [13].

Kuna 2006 on andmete lähtepunktiks võetud, siis otse loomulikult ei ole selle aasta näitel võimalik kasvu võrreldes varasemaga näidata (sel aastal oli tuuleparkide koguvõimsus riigi peale ligi 11500 MW). Küll aga on siit näha, et kui lüriimaal oli tuuleenergeetika arengus tagasilööök aastal 2008, siis Hispaania investeeringud tuuleparkidesse suurenesid pidevalt aastatel 2007 kuni 2009. Suur tagasitõmbumine toimus alles aastal 2010, mil installeeritud tuulikute koguvõimsus oli eelneva aastaga võrreldes ligi 3 korda väiksem. Aastatel 2011 (mil ületati ka 20000 MW piir) ja 2012 panustati arengusse jällegi rohkem, kuid peale seda enam suuri investeeringuid tehtud ei ole. 2016. aasta seisuga on Hispaanias olevate tuuleparkide koguvõimsus 23066 MW.

Jooniselt võiski välja lugeda, et suurim areng selles valdkonnas toimus tegelikult aastatel 2006 kuni 2011 ning hilisematel aastatel on olukord stabiliseerunud. Ka tuuleenergiajaamade võimsuste suhe kogu riigi elektriijaamadesse oli juba 2010. aastal ligi 20 % [13, 14]. Seda näitab ka järgmine arvutus:

$$E_{\%4} = \frac{E_{t4}}{E_{kogu4}} \cdot 100\% = \frac{19706}{103086} \cdot 100\% \approx 19,12 \%$$

kus $E_{\%4}$ – tuuleenergiajaamade ja kõikide Hispaania elektriijaamade võimsuste suhe aastal 2010;

E_{t4} – tuuleenergiajaamade koguvõimsus aastal 2010 Hispaanias;

E_{kogu4} – elektri jaamade koguvõimsus aastal 2010 Hispaanias.

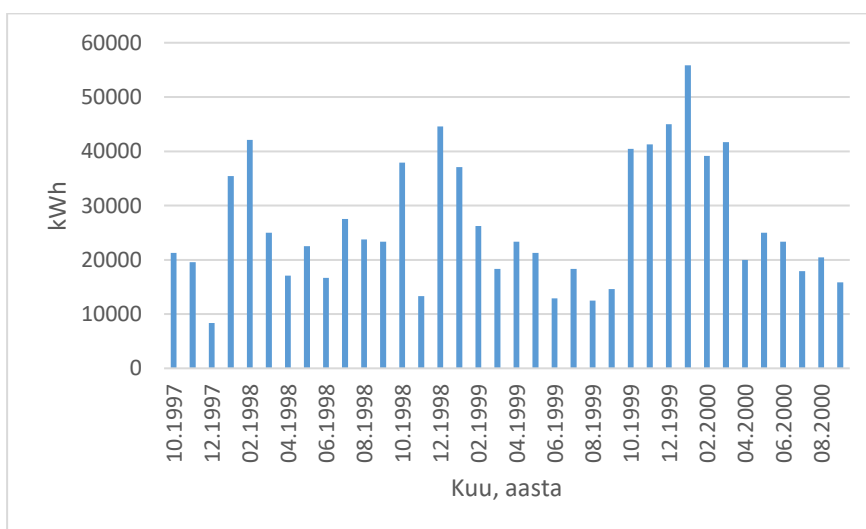
Aastaks 2016 on see protsent ligikaudu sama – 19 % [1]. Erinevalt näiteks Taanist, kus riik on minevikus olulisel määral tuuleenergia arengut toetanud, on Hispaanias tuuleenergia arengu pärssijaks eri valitsusorganisatsioonide vaheline nõrk koordinatsioon. Selle tulemusena ei ole tihti selge, kuidas ja kuhu uusi tuulejaamasid rajada ning ka käimasolevate projektide finantseerimine kannatab seetõttu. [12]

Viimane riik, mille tuuleenergeetika arengu ajaloost ülevaade välja toodud on, on Eesti. Sellest lähemalt järgmises alapeatükis.

2.6. Tuuleenergeetika areng Eesti näitel

Eesti esimene tuulegeneraator rajati Tahkunasse (asub Hiiumaal) ning see käivitati aastal 1997. Et tegemist oli Eesti ja Taani ühisprojektiga, siis jagati ka kulud kahe riigi vahel – vastavalt 0,6 miljonit ja 2,4 miljonit EEK. [15]

Käivitatud tuulegeneraator ei olnud küll eriti võimas – andmete järgi vaid 0,15 MW [16]. Sellegipoolest leidis seade kasutust ning allpool on ka välja toodud selle tuuliku energiatootmine esimestel aastatel (kuude lõikes) [15].



Joonis 8. Algusaastate andmed Tahkuna tuulikule [15].

Siit on näha, et vaadeldud perioodi jooksul toodeti elektrienergiat suuruses 948,8 MWh. Keskmise toodetud energia hulk kuude lõikes oli 26,4 MWh. Kõige rohkem energiat toodeti 2000. aasta jaanuaris suuruses 55,8 MWh ning kõige vähem 1997. aasta detsembris suuruses 8,3 MWh.

Kuigi nüüdseks on Tahkuna tuulik suletud, siis sellegipoolest on tuuleenergeetikat meil ka edasi arendatud. Aastal 2002 rajati Virtsu tuulepark koguvõimsusega 1,8 MW. Märkimistväärne on ka 2005 aastal rajatud Pakri tuulepark (koguvõimsus 18,4 MW), Viru-Nigula tuulepark aastal 2007 (koguvõimsus 24 MW), 2009. aastal rajatud Aulepa tuulepark esimeses etapis (koguvõimsus 39 MW) ning Paldiski tuulepark aastal 2012 (koguvõimsus 45 MW). [16]

2016. aasta seisuga töötab Eestis kokku 139 tuulikut koguvõimsusega 309,96 MW ning lisaks 20 mikrotuulikut koguvõimsusega 190 kW. Esimesed tuulikud on tööstuslikud, viimased kuuluvad eraisikutele. Sellise üle-Eestilise tuulepargiga oli 2016. aastal kogu tuuleenergiajaamade toodang 589 GWh. [2, 17]

Nagu ka valemist 1.3. näha võib, siis moodustas tuuleenergia toodang vaid ligikaudu 6,3 protsenti kogu elektritoodangust, mida on tunduvalt vähem ülejäänud võrdluses olevate riikide osakaalust.

Miks täpsemalt tootlused erinevate võrdluses olevate riikide vahel selliselt ära jaotunud on, on selgitatud pikemalt järgmises peatükis.

3. ÜLEVAADE RIIKIDEST TÄNASEL PÄEVAL

Kui eelmises sisupeatükis oli välja toodud lühiülevaade võrdluses olevate riikide arengust tuuleenergeetika vallas, siis selles peatükis on fookus pigem tänapäevastel andmetel. Täpsemalt on välja selgitatud, mis tingimused on kaasa aidanud tuuleenergeetika arengule või mis on seda progressi pärssinud.

Esimeses alapeatükis on aga antud lühiülevaade sellest, et mis on üldine olukord Euroopa Liidus.

3.1. Olukord Euroopas

2016 aasta seisuga oli installeeritud tuuleparkide koguvõimsus Euroopa Liidus veidi üle 157 GW [4]. Suurimad tuuleenergia tootjad (osakaalu järgi kogu elektritoodangust) on Taani, Iirimaa, Portugal, Hispaania ja Saksamaa [1].

2017. aasta andmete kohaselt aga ületati ka 165 GW piir. Viimane oli EWEA (eesti k. Euroopa Tuuleenergia Assotsiatsioon) poolt 2015. aastal seatud pessimistlikum eesmärk. See ületati, installeerides 12484 MW tuulikuid mandrile ning 3154 MW merele. Selliste tulemustega võib öelda, et see oli Euroopa Liidu jaoks rekordaasta. 15,6 GW installeeritud võimsust oli 25 % rohkem kui eelneval aastal. Sellest 15,6 GW-st ligi 6,6 GW installeeriti Saksamaal, 4,3 GW Ühendkuningriikides ning 1,7 GW Prantsusmaal. [18]

Kuigi Euroopa Liidus ei tegeleta mitte ainult tuuleenergeetikaga, siis valdav osa paigaldatud keskkonnasõbralikest jaamadest olid tuuleenergia põhised - tuuleenergia võimsused moodustasid 2017. aastal 65,3 protsenti kogu installeeritud keskkonnasõbralikest lahendustest. [18]

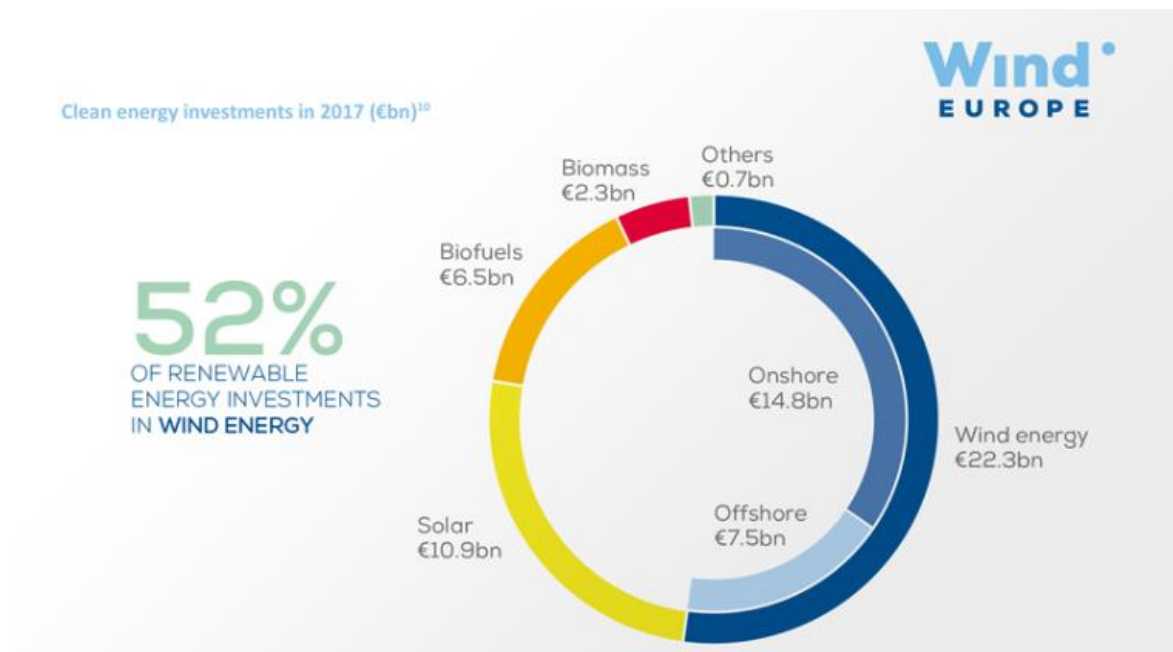
Selline keskendumine tuulele on osalt sellepärast, et tuulegeneraatorite rajamine on tihti lihtsam kui näiteks hüdroenergiajaamade. Viimaste puhul võib olla sobiva veekogu leidmine

üsnagi raske. Lisaks on seal tegemist ka suurte alginvesteeringutega ning külmemate kliimade puhul peab arvestama sellega, et mitte ükski mehhanismi osa näiteks ära ei külmuks.

Samuti kui võrrelda tuuleenergiat päikeseenergiaga, siis päikesepaneelid on siia maani suhteliselt kallid, paneelide kasutegur tavaliselt ei ületa 15...20 protsenti ning paneelide kasutegur sõltub lisaks veel ülesehitusele (sisemine struktuur) ka geograafilisest asukohast. Lihtsustatult öeldes: mida ekvaatorile ligemal, seda mõistlikum nende paneelide kasutamine on.

Seetõttu keskendutaksegi Euroopas praegu pigem tuuleenergiale, kuna geograafilised tingimused soodustavad selle energiatüübi kasutamist. Sellegipoolest ei saa väita, et ka tuuleenergial omi miinuseid ei oleks. Tuulikute kasutamisel on tihti probleemiks sobiva asukoha leidmine – nimelt on suure võimsusega tuulepargi rajamiseks vaja kasutada suuri maa-alasid. Kuna tegemist on ka tuulega, siis on raske ette ennustada tuuleenergia tegelikku tootlust. Võib olla perioode, kui tuul puhub ja generaatorid toodavad isegi rohkem energiat, kui vaja – siis oleks vaja kasutada energiasalvesteid (akupankasid). Tuulegeneraatoreid võib olla ka keeruline paigaldada ning seega võivad paigaldamiskulud osutuda üsnagi suureks (võrreldes teiste energiaallikatega) ning hilisemad hooldamistööd on ka keerulise loomuga.

Võttes aga arvesse kõiki plusse ja miinuseid, on ikkagi mindud pigem tuuleenergia teed. Sellest tulenevalt ollakse tänaseks päevaks olukorras, kus tuuleenergia katab 11,6 % kogu Euroopa Liidu energiavajadustest. Seda illustreerib ka fakt, et eelmisel aastal investeeriti pigem just tuuleenergiasse. Allpool on välja toodud ka graafik, mis näitab täpsemalt investeeringuid erinevatesse taastuvenergiaallikatesse. [18]



Joonis 9. Investeeringud aastal 2017 Euroopa Liidus taastuvenergiaallikatele [18].

Siit ongi näha, et umbes 52 protsenti kõikidest investeeringutest taastuvenergiaallikatesse tehti just tuuleenergia arendamiseks. Välja võib lugeda ka seda, et ligikaudu 34 protsenti investeeringutest tehakse merel paiknevatele tuuleparkidele [18]. See võib osalt olla tingitud ka sellest, et kuna tuulepargid hõivavad enda alla suhteliselt suure maa-ala, siis sellest lähtudes oleks otstarbekam ehitada tuuleparke merealadele, jättes maismaa-alad muu inimtegevuse jaoks avatuks.

Kuigi 2017. aastaga saavutati Euroopa Komisjoni üks eesmärkidest: jõuti enne 2020. aastat 165 GW koguvõimsuseni, siis järgmine on jõuda 2020. aastaks koguvõimsuseni 192 GW [4]. Imselt on see ka järgmine eesmärk, mille poole püüeldakse.

Täpsem ülevaade Taani olukorrast on aga toodud järgmises alapeatükis.

3.2. Olukord Taanis

Kui 2014. aasta seisuga oli Taani tuuleenergiajaamade tootmisvõimsus 4890 MW [3], siis 2016. aasta lõpuks oldi juurde rajatud 228 MW suuruses jaamasid, mille tulemusena tõusis kogu tootmisvõimsus 5246 MW-ni. Samas aga 59 MW suuruses tuuleparke demonteeriti,

mistõttu juurdekasv 2016. aastal oli tegelikult vaid 169 MW. Nende tuuleparkide abil toodeti aasta lõikes tervelt 37,6 protsenti kogu riigi energiatarbest. Ülejäänud elektrienergia tootmisel kasutati õli, maagaasi, kivisüsi ja ka vähesel määral imporditud elektrienergiat. Suures osas on seega Taani elektri tootmisel iseseisev, kuna imporditud elektrienergia hulk oli koguhulgast vaid 2,4 %. [19]

Põhjuseid, miks Taani on tuuleenergia tootmises (osakaaluna kogu elektritoodangust) esikohal, on mitmeid. Juba ajalooliselt on Taani valitsus kas ühel või teisel moel toetanud uute tuuleparkide rajamist. Varasemalt on nad ka suurtel mere-tuuleparkidel pakkunud töötajatele eriboonuseid. Lisaks on nii maismaa- kui ka merel olevatele tuuleparkide omanikele pakutud lisakompensatsioone toodetud energiaühiku (enamasti MWh) pealt. Säärasead soodustused või kompensatsioonid kehtivad maismaaparkidele 20 aastat ning mereparkidele 50000 töötundi. Hinnastamine erineb ka otse loomulikult vastavalt sellele, mis tüüpi rajatisega tegemist on. Allpool on välja toodud ka varasemalt kasutatud tasuskeem. [20]

Tabel 1. Tasuskeem Taani tuuleparkide tegevuse kompenseerimiseks [20]

Tehnoloogia	Kestvusperiood	Tasustamine	Märkused
1. Tuulepark mandril	20 aastat	Turuhind ja 13 EUR MWh kohta	Muude tasude tõttu on tegelik tasustatav summa ligi 57 EUR MWh kohta
2. Tuulepark merel	50000 töötundi	66...70 EUR MWh kohta ja 13 EUR MWh kohta	Balansseerimiskulud on omanike enda poolt

Järgnevas alapeatükis on aga vaadeldud olukorda Iirimaa näitel.

3.3. Olukord Iirimaal

2015. aasta lõpuks oli Iirimaa tuulepargi koguvõimsus tõusnud ligikaudu 2450 MW-ni. 2016. aasta oli rekordiline selles osas, et installeeriti 345 MW suuruses uusi tuuleparke. Sellest tulenevalt kasvas tuuleparkide koguvõimsus ligi 2800 MW-ni. [21]

Sellegipoolest vähenes tuuleenergia osakaal kogu elektritoodangust tol aastal, kuna tegemist oli varasemalt tuulevaiksema perioodiga ning üldine energiavajadus riigis kasvas. Iirimaal on aga töös üks arendusprojekt jätkusuutliku kasvu tagamiseks, mis keskendub võrguühendustele – varasemalt on olnud tuuleenergiaga probleemiks ebaühtlane tootlikkus ning toonud endaga kaasa liligse võrgukoormuse. [21]

Täna seaks päevaks ollakse aga siiski jõutud olukorda, kus tuuleenergia on kõige odavam taastuvenergiaallikas ning 2016. aastal moodustas see tervelt 85 protsenti kogu toodetud taastuvenergiast. Lisaks on veel tuuleenergia ka üldiselt teisel kohal oma olulisuselt; ainuke energiaallikas, mida rohkem kasutatakse, on maagaas. [22]

Iirimaa kasuks räägib erinevalt näiteks Taanist suurem maa-ala [23, 24] maismaal. Kuna Iirimaa on ümbritsetud ka ookeaniga, siis on potentsiaali vee-tuuleparkide rajamiseks tunduvalt rohkem. Hetkeseisuga aga räägib Iirimaa kahjuks hiljem käivitatud arendustööd.

Teisalt aga on alates 2006. aastast toiminud REFIT-nimeline toetusprojekt taastuvenergiaallikatele (mille eelarvest enamik on läinud tuuleenergiele). Selle raames toetatakse tuuleparke ka järgnevate tariifidega (2015. aasta andmete kohaselt) [21]:

Tabel 2. Toetavad tariifid Iirimaal aastal 2015 [21]

Tuulepargi tootmisvõimsus	Tariif
1. Suurem kui 5 MW	69,72 EUR MWh kohta
2. Väiksem kui 5 MW	72,167 EUR MWh kohta

Järgnevas alapeatükis on aga välja toodud olukord Portugalile.

3.4 Olukord Portugalis

Tänaseks päevaks ollakse olukorras, kus tuuleenergia tootmisvõimsus on 5313 MW. Portugalis oli 2016. aasta seisuga juba teist järjestikkust aastat olukordi, kus teatavatel hetkedel suutis riik toimida täielikult tuuleparkide poolt toodetud elektril. Lisaks sellele esines 2016. mais olukord, mil mandri-Portugal suutis 4 järjestikkust päeva ainult taastuvatest energiallikatest toodetud elektril toimida. [11]

Portugal aga mitte ei kasuta kogu toodetud võimsust ainult elektrienergiaks, vaid 10 protsenti sellest läheb transpordisektorile, 35,9 protsenti soojustuseks ning jahutamiseks ning ülejäänud 59,6 protsenti elektriks. [11]

Tuulejaamad, mis võimaldavad erinevaid riigi sektoreid selliselt toetada, asuvad peamiselt maismaal. Siiski on mõningane fookus suunatud ka mere-tuuleparkide arendamisele. 2016. aastal anti luba 25 MW ujuva tuulepargi ehitamiseks [11]. Arvestades aga, et Portugali läänepoolne riigipiir on ümbritsetud merega, on üllatav, et riik ei ole seadnud suuremat fookust meres asuvate tuuleparkide ehitamisele.

Sellest hoolimata on aga ka Portugalil (nagu ka ülejäänud selles töös vaadeldud riikidel) olemas riigitoetused tariifide näol, mida makstakse toodetud elektrienergiaühiku pealt tuulefarmi omanikule. 2015. aasta keskendatud tariifi järgi on selle summa 93,21 EUR MWh kohta. [11]

Järgnevas alapeatükis on täpsemalt vaadeldud olukorda Hispaania kohta.

3.5. Olukord Hispaanias

Hispaania olukord tuuleenergeetika vallas oli 2016. aasta seisuga üsnagi hea – nimelt oli tuulikute koguvõimsus ületanud toleaks aastaks 23000 MW piiri [13]. Kuigi tuuleenergia osakaal kogu elektrienergiast oli aasta peale alla 20 protsendi [1], siis 2016. aasta veebruaris oli see protsent aga 30,2 [25].

Nendest näitajatest saab välja lugeda seda, et kuigi Hispaania tuuleparkide koguvõimsus on muljetavaldavalt suur, siis tootmise pudelikaelaks on suuresti sobivate tuuleiilide puudumine. Irimaa näiteks on geograafilise asukoha poolest selles vallas sobivamas kohas. Ka selline nüanss mõjutab tuuleparkide tegelikku tootlikkust.

Et aga tuuleenergia poolt toodetud elektri osakaalu suurendada, oli neil välja toodud mitmeid plaane selle teostamiseks. Teisalt aga esines kas nende plaanide edasilükkamist või ainult osalist täitmist. Näiteks plaan investeerida 7,5 miljardit EUR uute tuuleparkide rajamiseks (6400 MW raames), lükkus edasi. [25]

2017. aastal kuulutati välja mitmeid oksjone eesmärgiga rajada 3000 MW suuruses uusi tuuleparke [25]. Selle tulemusena aga saavutati eesmärk vaid osaliselt – tegelik uute installatsioonide maht jäi ligi 0,1 GW piiresse [18].

Probleem investeringute tegelikult algas isegi varem. NREAP (National Renewable Energy Action Plan) plaani kohaselt aastatel 2011...2020 oli siht jõuda tärmuni lõpuks 35 GW-ni. Samas viidi 2012. aastal läbi reform elektrisektoris, mis esiteks seadis kahtluse alla paljud tollal planeerimisjärgus olevad projektid. Teiseks: reformi raames vähendati erinevaid tariife ja toetusi. [25]

Võttes kõiki neid faktoreid arvesse, on Hispaania kasvutempo tuuleenergiajaamade arendamise osas vähenenud märgatavalt võrreldes perioodiga alates 2007. aastast kuni 2012. aastani [13]. Paljude suurarendajate arvates on probleem vähestes toetusmahtudes. Nimelt alustatakse projektide toetamisega riigi poolt alles siis, kui projekti kogumaksumus ületab 1,2 milj EUR MW kohta piiri. Ka siis on tariifid tunduvalt väiksemad kui näiteks naaberrigiil Portugalil [11]. Allpool on välja ka toodud tabel, kus on ära selgitatud, millised on kehtivad tariifid [25].

Tabel 3. Tariifid tuuleenergiale Hispaanias

Tuulejaama maksumus	Tariif
1. Vähem kui 1,2 milj EUR MW kohta	Puudub
2. Rohkem kui 1,2 milj EUR MW kohta	Esimene aasta 24,95 EUR MWh kohta; Maksimaalne 63,243 EUR MWh kohta

Selliste tariifide juures ei usugi paljud suurtootjad, et tuuleenergia edasiarendamine hetkeliste hindade juures oleks jätkusuutlik. See on ka üks põhjus, miks kasvutempo hetkeseisuga üsnagi aeglane on.

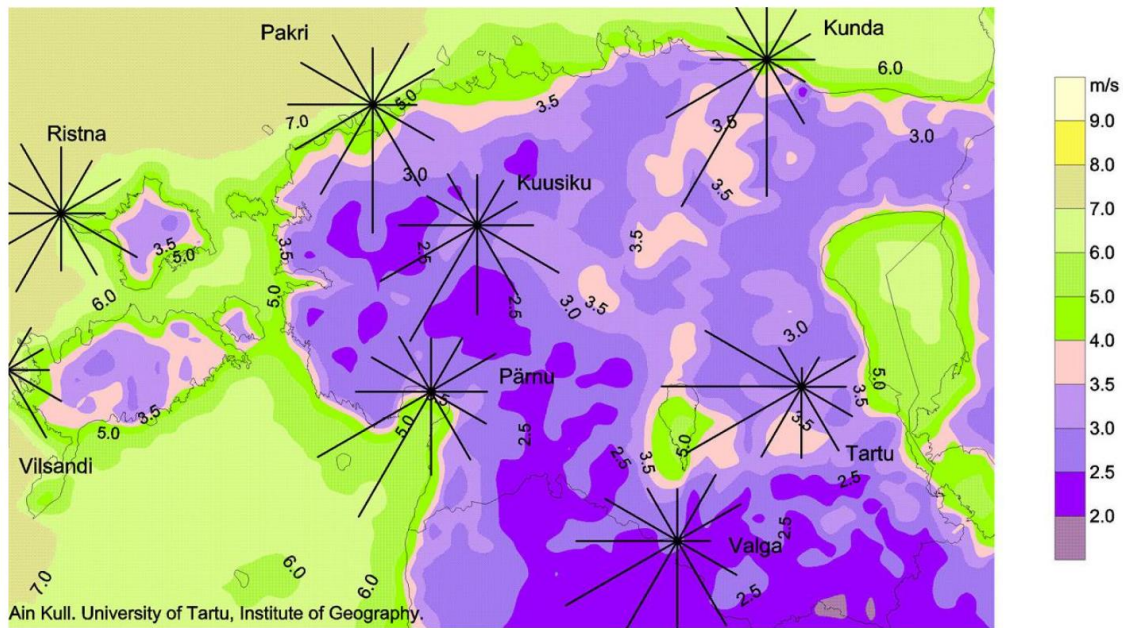
Ülevaade Eesti olukorrast on antud järgmises peatükis.

3.6. Olukord Eestis

2016. aasta seisuga oli Eestis 139 tuulikut; koguvõimsus nendel seadmetel oli 309,96 MW. Juurde tuleks arvestada ka 20 mikrotuulikut koguvõimsusega 190 kW. [17]

2017. aasta seisuga olemasolevate tuuleparkide hulk ei ole muutunud. Küll on aga veel projekte kas arendus- või planeerimisjärgus. Samas kimbutavad erinevaid projekte omaette probleemid. Näiteks 2010. aastal käivitatud projekt Aidu tuulepargi rajamiseks [26] seisab hetkel silmitsi kohtujuhtumitega [27] ning on varasemalt (mitte ainukesena) pidanud läbirääkimisi pidama Kaitseministeeriumiga [28].

Viimane on eriti oluline just see-tõttu, et Eesti maismaa-territooriumil ei ole paljudes paikades tuulekiirused tihtilugu sobivad, et tagada jätkusuutlik tootmine. Allpool on lisatud ka kaart, mis näitab ära, millised on tuulekiirused, mõõtes 10 meetri kõrgusel maapinnast [29].



Joonis 10. Tuulekiirused mõõdetuna 10 meetri kõrguselt maapinnast [29].

Tänase päeva seisuga peavad tootjad planeeringud kooskõlastama Kaitseministeeriumiga. Seda sel põhjusel, et tuulikud võivad teatud tingimustel häirida õhuseireradarite tööd [28]. Kuna aga tihtilugu on tuulekiiruste aspektist lähtudes sobilikud alad ministeeriumi poolt ära keelatud või sobivat kompromissi ei leita, siis vaatavad tootjad tulevikus ilmselt pigem merele rajatud tuuleparkidele. Kuigi lahendused on kallimad, siis on ka tuulekiirused (ning seeläbi ka tootlikkus) paremad.

Säärase väljavaate on võtnud juba näiteks Nelja Energia AS ja ka Eesti Energia AS. Mõlemad firmad on käivitanud arendusprojektid mere-tuuleparkide rajamiseks. Võimsused nendele projektidele on vastavalt 700 MW ja 600 MW. [26]

Mida aga säärased arengud tähendavad erinevate riikide ja Euroopa kontekstis üleüldiselt – ülevaatlikud prognoosid aastaks 2025 on olemasoleva info põhjal ka järgnevas peatükis välja toodud.

4. PROGNOOSID

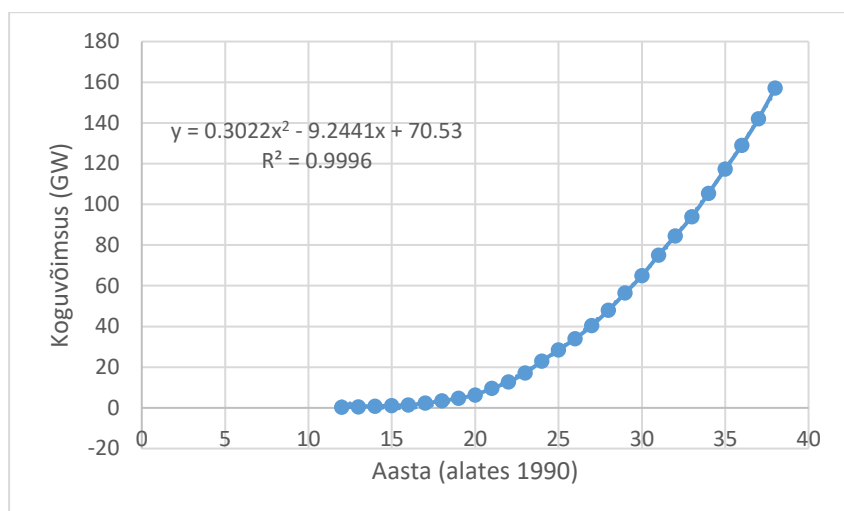
Sarnaselt varasemate peatükkidega on siinkohal antud prognoosid eraldi välja toodud Euroopa Liidule üleüldiselt ning siis ka igale riigile. Prognooside loomisel on võetud arvesse töös kasutatud andmeid. Ühtlasi on ka võrreldud seda (kui võimalik), et kuidas lähevad kokku omavahel prognoositud andmed ning eesmärgid, kui viimaseid on seatud. Selgituseks veel, et funktsioonide valikul on lähtutud sellisest funktsioonist, mille kirjeldatuse aste vastaks lähteandmetele kõige paremini.

Allolev alapeatükk keskendub esimesena Euroopa Liidule.

4.1. Prognoos Euroopa Liidule

Selles alapeatükis on välja toodud prognoositud olukord Euroopa Liidule aastaks 2025. Selleks on kasutatud juba varem selles töös välja toodud andmeid (vt joonis 3).

Prognoosi loomiseks on kasutatud kolmanda astme polünoomi. Kõigepealt on vaadeldud perioodi alates 1979. aastast kuni 2016. aastani. On leitud teise astme polünoom, mis suudab kirjeldada olemasolevaid andmeid 99,96 protsendi täpsusega. Et aga anda sellest ka visuaalne ülevaade, on see joonis koos vastava funktsiooniga allpool ka välja toodud.



Joonis 11. Euroopa Liidu tuuleenergia koguvõimsusi kirjeldav seos aastatel 1979...2016.

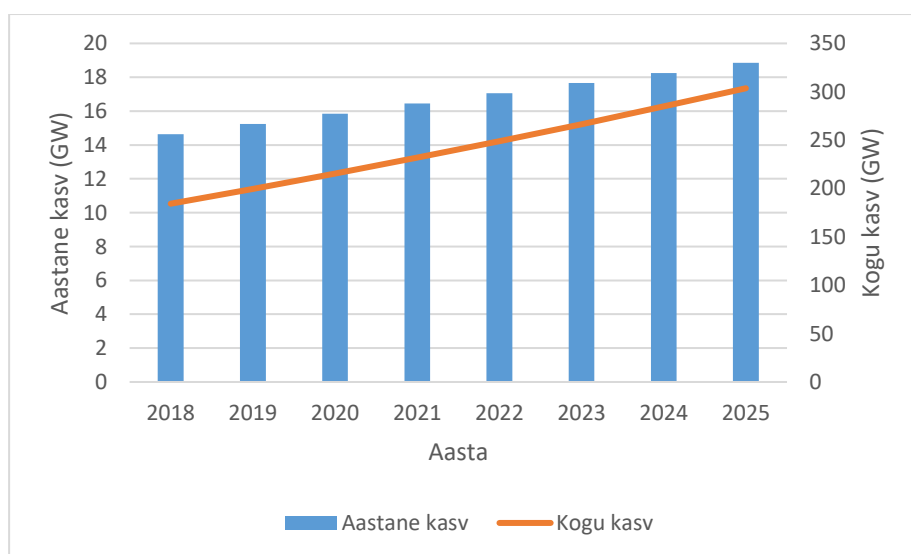
Siit tuleb välja, et olemasolevaid andmeid kirjeldav seos on väljendatud järgneva funktsiooniga:

$$y = 0,3022x^2 - 9,2441x + 70,53 \quad (4.1)$$

kus y – koguvõimsus (GW);

x – aastaarv.

Proгноositava seose leidmisel on alustatud aastast 1990, kui eksisteeris selle prognoositava seose loomiseks tähendusrikas kogus väärtuseid. Kasutades seda leitud seost, on võimalik prognoosida ka tuuleenergia arengut Euroopa Liidus aastani 2025. Tulemused on järgnevad:



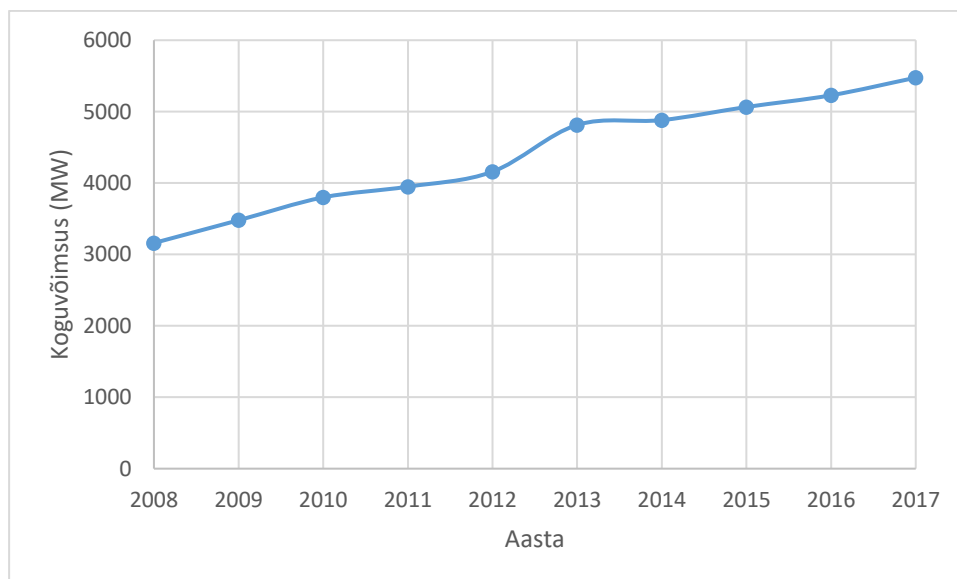
Joonis 12. Prognoos Euroopa Liidu tuuleenergia arenguks aastani 2025.

Siit on võimalik välja lugeda, et prognoosi kohaselt ületatakse EWEA eesmärk jõuda 192 GW-ni [4] aastal 2019 ning aasta 2020. lõpuks peaaegu et jõutakse ära täita ka optimistlikum eesmärk jõuda 216 GW-ni [4]. Prognoosi põhjal ollakse 2020. aasta lõpuks veel 215,3 GW juures. Aastaks 2025 ületatakse prognoosi põhjal 300 GW piiri.

Lähtudes sellisest prognoosist, on Euroopa Liidu tulevik tuuleenergia vallas üsnagi positiivne, kui suudetakse järgneva 12 aastaga koguvõimsus rohkem kui kahekordistada. Prognoosid töös vaadeldud riikidele on järgnevates alapeatükkides välja toodud. Järgnevas alapeatükis on see koostatud Taani kohta.

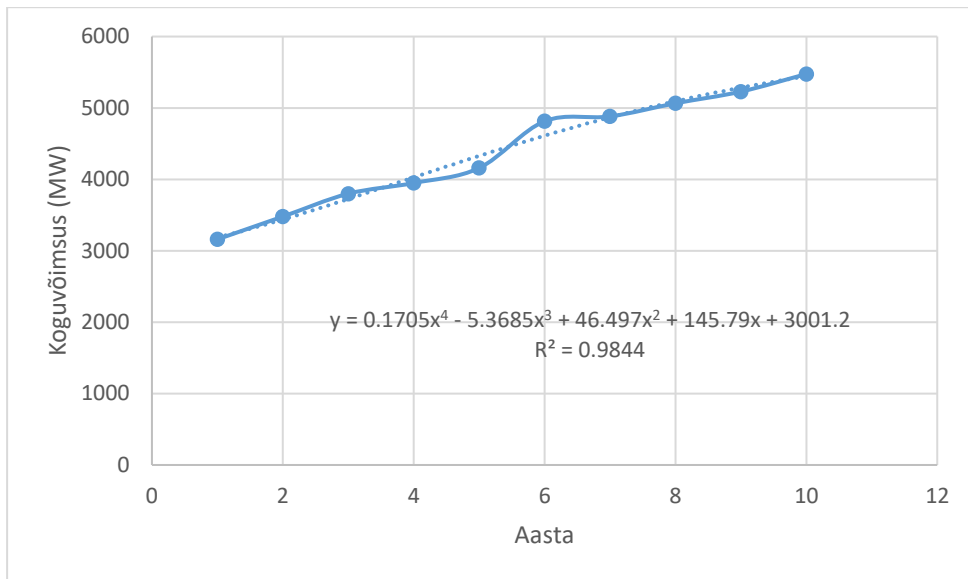
4.2. Prognoos Taanile

Taani puhul on prognoosi tegemisel lähtutud järgnevatest andmetest, mis on välja toodud graafilisel kujul [30].



Joonis 13. Taani tuuleenergiajaamade koguvõimsuse kasv aastatel 2008 kuni 2017.

Selle graafiku põhjal on sarnaselt Euroopa Liidule leitud andmete põhjal teostatud prognoositav kasv. See seos on graafilisel kujul allpool välja toodud.



Joonis 14. Taani tuuleenergia koguvõimsusi kirjeldav seos aastatel 2008...2017.

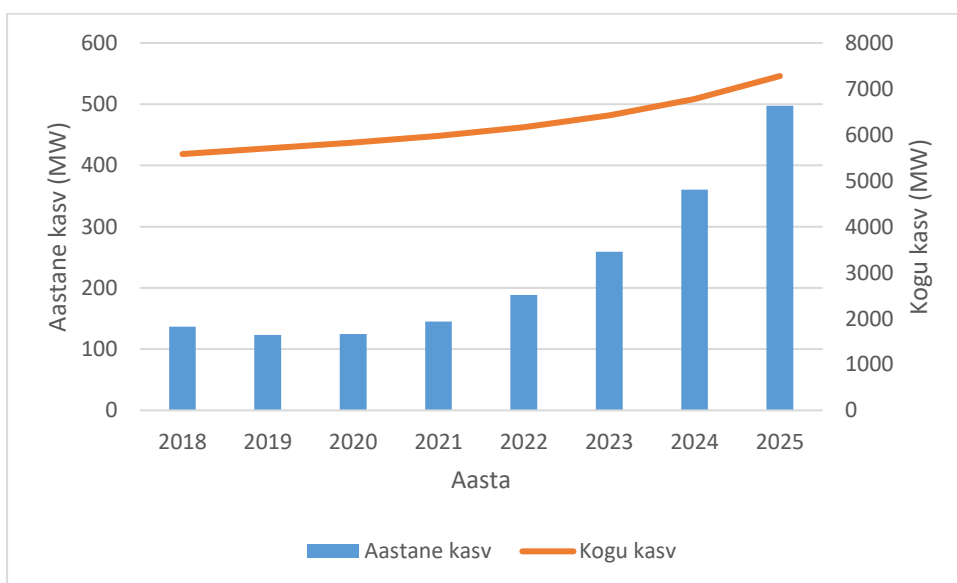
Siit on näha, et olemasolevaid andmeid kirjeldav funktsioon on järgnev:

$$y = 0,1705x^4 - 5,3685x^3 + 46,497x^2 + 145,79x + 3001,2 \quad (4.2)$$

kus y – koguvõimsus (MW);

x – aastaarv.

Järgnevalt on selle seose põhjal koostatud ka prognoos selleks, et milline võib olukord välja näha aastal 2025.



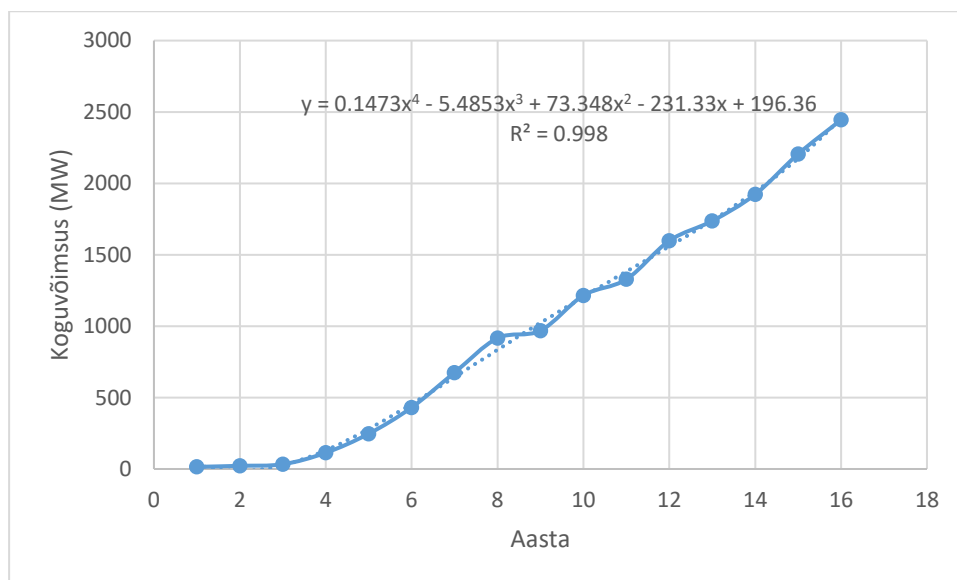
Joonis 15. Prognoositav kasv Taani tuuleenergiale kuni aastani 2025.

Sellise prognoosi kohaselt on Taani tuuleenergia kasvutempo pidevalt kasvav. Siit on näha, et nende andmete põhjal ületaks Taani 2022. aastal 6000 MW piiri ning 2028. aastal 10000 MW piiri. See tähendaks, et olemasoleva võimsuse kahekordistamine toimuks aastaks 2029.

Prognoos Iirimaale on välja toodud järgmises alapeatükis.

4.3. Prognoos Iirimaale

Koostades prognoosi Iirimaale, on arvesse võetud joonisel 6 kuvatud andmeid. Nende andmete põhjal saab prognoositavaks seoses järgmise seose:



Joonis 16. Iirimaa tuuleenergia koguvõimsusi kirjeldav seos aastatel 2000...2015.

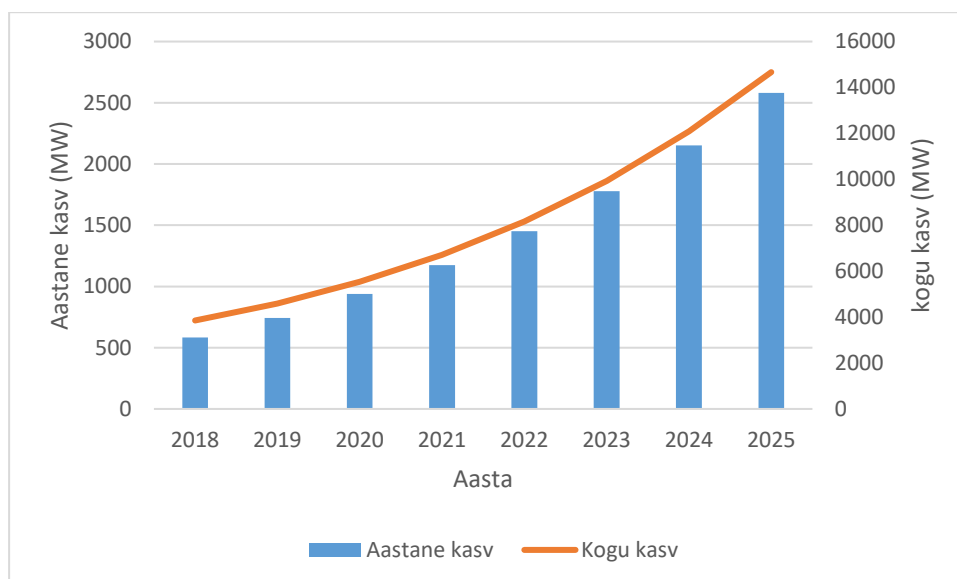
Prognoositava seose kirjeldatuse aste on 99,8 protsenti ning see seos on järgnev:

$$y = 0,1473x^4 - 5,4853x^3 + 73,348x^2 - 231,33x + 196,36 \quad (4.3)$$

kus y – koguvõimsus (MW);

x – aastaarv.

Kasutades neid andmeid, oleks prognoositav olukord aastani 2025 järgmine:



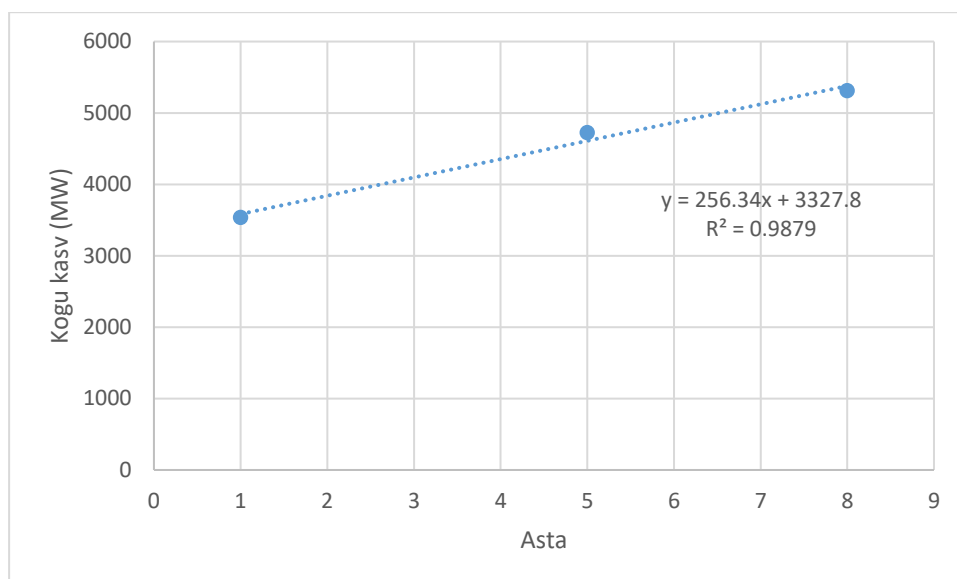
Joonis 17. Prognoositav kasv Iirimaa tuuleenergiale kuni aastani 2025.

Sellelt jooniselt saab välja lugeda, et 5000 MW piir ületatakse selle prognoosi kohaselt aastal 2020 ning aastal 2024 jõutakse ka üle 10000 MW piiri. Sellisel juhul toimuks võimsuse kahekordistamine juba aastal 2020, mis on selle prognoosi kohaselt vägagi optimistlik.

Järgnevas alapeatükis on välja toodud prognoos Portugalile.

4.4. Prognoos Portugalile

Portugali põhjal tuleb prognoosi koostamisel lähtuda vähematest andmetest. Võttes aluseks selle, et aastal 2009 oli Portugali tuuleenergiajaamade koguvõimsus 3535 MW [31], aastal 2013 4724 MW [10] ning aastal 2016 5313 MW [11], siis prognoositav seos nende andmete põhjal oleks järgnev:



Joonis 18. Portugali tuuleenergia koguvõimsusi kirjeldav seos aastatel 2009...2016.

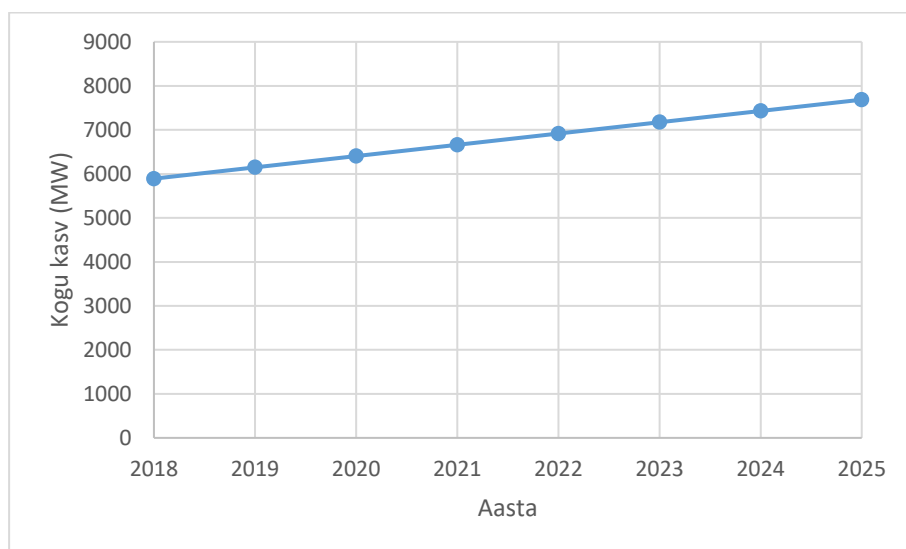
Kirjeldav funktsioon oleks antud hetkel lineaarne seos. Andmete vähesuse tõttu on aga hiljem kuvatud prognooside usaldusväärsus kaheldav. Sellegipoolest on seost kirjeldav funktsioon järgnev:

$$y = -256,34x + 3327,8 \quad (4.4)$$

kus y – koguvõimsus (MW);

x – aastaarv.

Lähtudes nendest andmetest, oleks prognoos aastani 2025 järgnev:



Joonis 19. Prognoositav kasv Portugali tuuleenergiale kuni aastani 2025.

Hoolimata funktsiooni heast kirjeldatuse astmest on leitud tulemuste usaldusväärsus kaheldav puhtalt andmete vähesuse tõttu. Küll aga saab sellelt jooniselt välja lugeda, et sellise kasvutempoga ületaks Portugal 2019. aastal 6000 MW piiri ning aastaks 2025 7500 MW piiri. Prognoosid ei ole siinkohal võrreldes ülejäänud riikidega ka nii optimistlikud.

Järgnevalt on prognoos välja toodud Hispaaniale.

4.5 Prognoos Hispaaniale

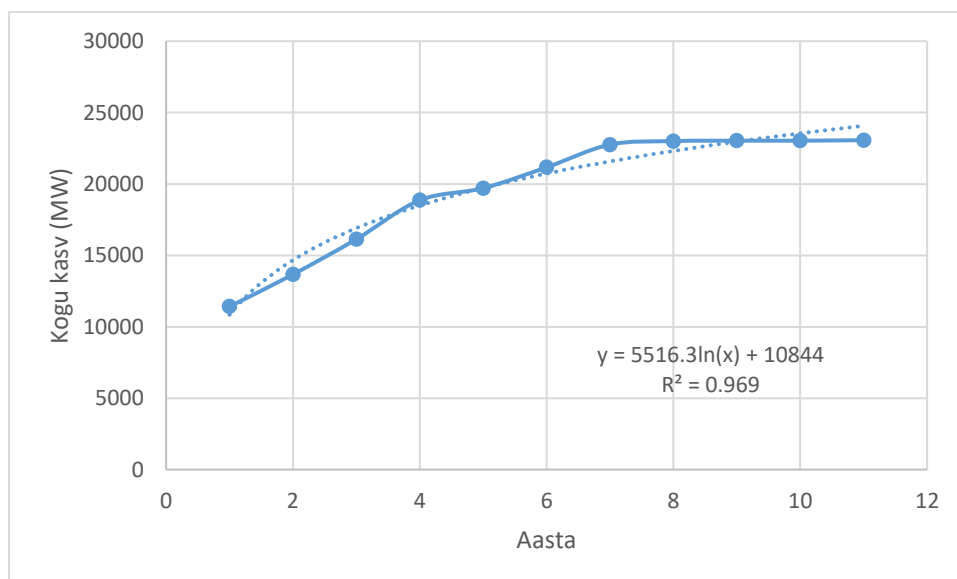
Hispaania puhul lähtutakse joonisel 7 kuvatud andmetest. Nende andmete põhjal oleks kirjeldava funktsiooni kirjeldatuse aste 96,9 protsenti ning tegemist on logaritmilise funktsiooniga. See on allpool välja toodud:

$$y = 5516,3 \cdot \ln(x) + 10844 \quad (4.5)$$

kus y – koguvõimsus (MW);

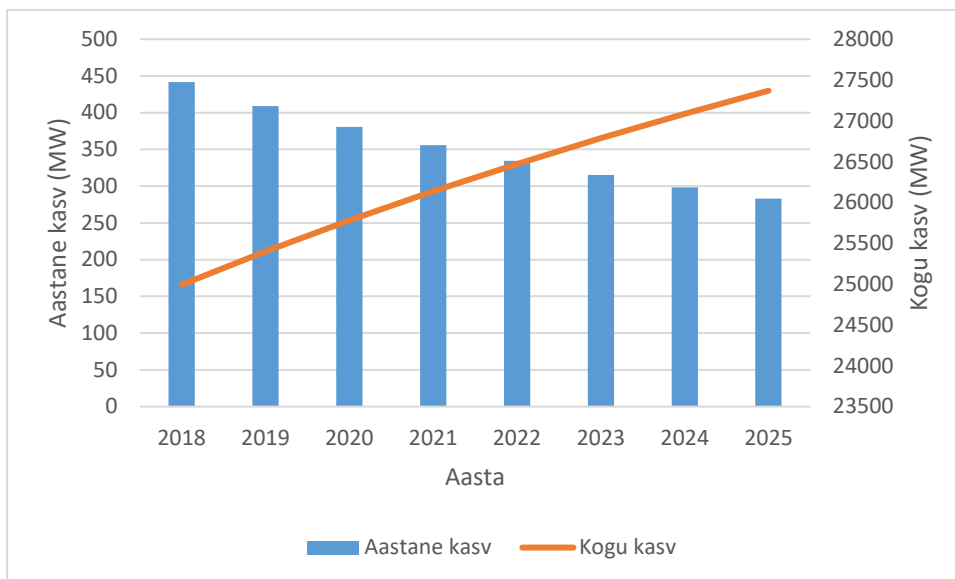
x – aastaarv.

Graafilisel kujul välja tooduna näeb see seos välja järgnevalt:



Joonis 20. Hispaania tuuleenergia koguvõimsusi kirjeldav seos aastatel 2006...2016.

Järgnevalt on välja toodud nende andmete põhjal koostatud prognoos aastast 2018 kuni aastani 2025.



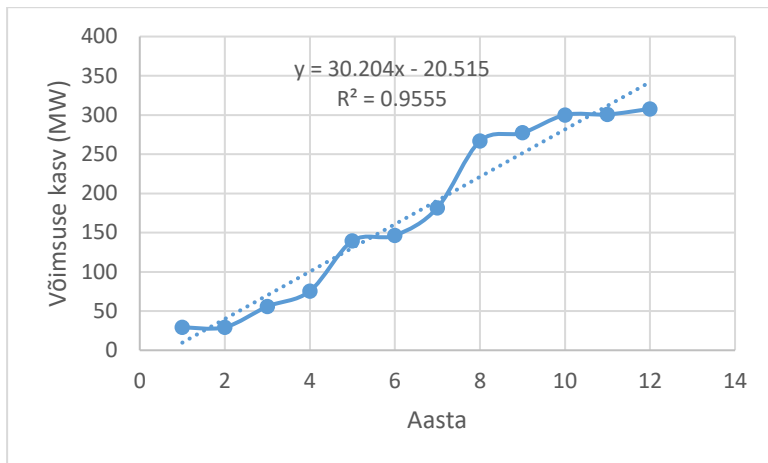
Joonis 21. Prognoositav kasv Hispaania tuuleenergiele kuni aastani 2025.

Sellelt jooniselt on näha, et erinevalt Taani või Iirimaa prognoosidest oleks siinkohal tegemist aeglasema arenguga. Otse loomulikult tegemist on prognoosidega ning paljugi sõltub Hispaania puhul sellest, et millistele kokkuleppele jõuavad omavahel ettevõtjad ja riik toetuste ning erinevate muude tariifide osas. Kui aga lähtuda prognoosist, siis ületaks Hispaania 2020. aastal 25000 MW piiri ning aastaks 2025 oleks ületatud 27000 MW piir.

Viimasena on välja toodud prognoos ka Eestile.

4.6. Prognoos Eestile

Eestile prognoosi koostamise puhul lähtutakse Tuuleenergia Assotsiatsiooni andmetest [16]. Prognoosi koostamisel on lähtutud sellest, et kasutatud andmed oleksid ka kaalult olulise tähtsusega. Seetõttu on prognoosi koostamisel arvesse võetud perioodi 2005 kuni 2016. Prognoos sellisel juhul on järgnev:



Joonis 22. Eesti tuuleenergia koguvõimsusi kirjeldav seos aastatel 2005...2016.

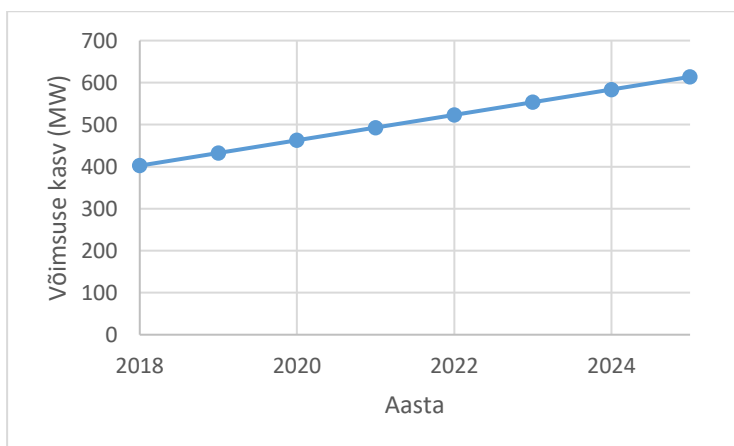
Antud andmete puhul kõige reaalsema oletuse andiski lineaarne seos. Allpool on see seos ka välja toodud:

$$y = 30,204x - 20,515 \quad (4.5)$$

kus y – koguvõimsus (MW);

x – aastaarv.

Lähtudes nendest andmetest, oleks prognoositav kasv aastani 2025 järgnev:



Joonis 23. Prognoositav kasv Eesti tuuleenergiale kuni aastani 2025.

Sellelt jooniselt saab välja lugeda, et aastal 2022 ületatakse sellise tempoga 500 MW piir ning aastaks 2025 ületatakse 600 MW piir. Prognoosis aga ei kajastu see, et tänase päeva seisuga on Eestis 2 ettevõtet, kes plaanivad rajada uued merepealsed tuulepargid [26]. Nagu ka eelnevalt märgitud, on merepealsete tuuleparkide rajamine Eesti kontekstis igati mõistlik,

arvestades veel ka seda, et nendel tuulegeneraatoritel peaks esinema vähem hälbeid töötamisel [32, lk 285].

Järgnevas peatükis on tehtud järeldused töös käsitletud andmete kohta.

KOKKUVÕTE

Euroopa Liit on alates 2000. aastast teinud tuuleenergia arendamise vallas rohkem progressi kui tervelt 20 aastaga enne seda. Nimelt jõuti 1979. aastast kuni 2000. aastani välja töötada vaid ligi 10 GW suuruses tuuleparke. Samas ollakse tänapäeval olukorras, kus see number on tõusnud peaaegu et 170 GW-ni. Kui vaadata ka peatükis 4 tehtud prognoosi, siis sellise tempoga ületatakse 2025. aastaks ka 300 GW piir.

Sel ja eelmisel kümnendil on olulisi samme edasi teinud ka Taani, kasvatades enda tuulepargi koguvõimsuse tervelt üle 5000 MW-i. Samuti on Iirimaa suutnud selle sajandi algusega kaasajastada enda tuulepargi, tõstes 2000. aastal oleva 15 MW koguvõimsuse tervelt üle 2400 MW-i. Vaadates seda, et mis nende riikide edukuse taga on, siis kerkib esile üsnagi suur riigitoetuste arv. Näiteks on Taani juba eelmisel sajandil toetanud uute tuulejaamade püstitamisel firmasid ja töötajaid, kompenseerides teatava protsendi ulatuses paigalduskulusid. Lisaks on mõlemal riigil kasutuses edukas tariifisüsteem: tuulepargi omanikele makstakse vastavalt igale toodetud MWh-le tasu.

Ka Portugalis, kus on viimase 10 aastaga tuulepargi võimsusi umbes 1,5 korda suurendatud, kasutavad tariifisüsteemi. Portugalis on tariif 1 MWh pealt veel kõige suurem, olles 93,21 EUR MWh kohta.

Kui vaadata aga Hispaaniat, siis erinevalt eelmainitud riikidest (kus roheliste energiaallikate arendusprogrammid toimivad edukalt ning tariifid on üsnagi kõrged), kimbutab Hispaaniat nõrk koordinatsioon ettevõtjate ja riigi vahel. See väljendub erinevate arenguprogrammide kas osalises või täielikus läbikukkumises. Lisaks tunnevad ettevõtjad, et kehtivate tariifide juures ei ole Hispaanias võimalik tegeleda jätkusuutliku tuuleenergia tootmisega.

Eesti ei ole nende riikide võrdluses ei kõige suurem tootja protsentuaalselt kogu elektritoodangust ega ka absoluutloodangult. Eesti puudusteks siinkohal on esmalt see, et sobivaid kohti jätkusuutlike tuuleparkide rajamiseks on vähe. Geograafiliselt (tuulekiiruselt) sobivates paikades peavad ettevõtjad aga arvestama ka Kaitseministeeriumi soovidega ning

teatavatel juhtudel võtab kompromisside leidmine üsnagi palju aega. Näitena võib välja tuua ka 2010. aastal käivitatud projekti Aidu tuulepargi rajamiseks, mis ei ole siiani valmis saanud [26]. Nendel põhjustel tasub Eesti turul pigem vaadata merepealsete tuuleparkide rajamisele, mida tegelikult juba plaaneerivad teha Eesti Energia AS ja Nelja Energia AS [26].

KASUTATUD KIRJANDUS

1. WindEurope. Wind Energy Today. [veebileht]
<https://windeurope.org/about-wind/wind-energy-today/> (25.03.2018)
2. Tuuleenergia Assotsiatsioon. Tuuleenergia moodustas mullu 41,7 % taastuenergia kogutoodangust. [veebileht]
<http://www.tuuleenergia.ee/2017/01/tuuleenergia-moodustas-mullu-417-taastuenergia-kogutoodangust/> (25.03.2018)
3. Denmark.dk. A World-Leader in Wind Energy. [veebileht]
<http://www.denmark.dk/en/green-living/wind-energy> (29.03.2018)
4. WindEurope. History. [veebileht] <https://windeurope.org/about-wind/history/> (29.03.2018)
5. Vestas V17 - 75 - 75,00 kW - wind-turbine-models.com.
<https://en.wind-turbine-models.com/turbines/141-vestas-v17-75?picture=xlm0tKGkcEP> (29.03.2018)
6. 30 Years of Policies for Wind Energy: Lessons from Denmark. (2013). IRENA.
https://www.irena.org/documentdownloads/publications/gwec_denmark.pdf (30.03.2018)
7. EirGrid. Installed Wind Report. [veebileht]
<http://eirgridgroup.com/site-files/library/EirGrid/ConnectedTSOWind-Farms18thSept2015.pdf> (03.04.2018)
8. Energy In Ireland. (2016). SEAI.
<https://www.seai.ie/resources/publications/Energy-In-Ireland-1990-2015.pdf> (03.04.2018)
9. Energy Transition. Portugal - Moving to 100% renewables. [veebileht]
<https://energytransition.org/2016/06/portugal-moving-to-100-renewables/> (17.04.2018).
10. Wind in power - 2013 European Statistics. (2014). EWEA.
http://www.ewea.org/fileadmin/files/library/publications/statistics/EWEA_Annual_Statistics_2013.pdf (17.04.2018)
11. IEA Wind. Wind Energy in Portugal. [veebileht]
<https://community.ieawind.org/about/member-activities/portugal> (17.04.2018)
12. Wind Energy - The Facts. Spain. [veebileht]
<https://www.wind-energy-the-facts.org/spain.html> (17.04.2018)

13. Red Eléctrica de España. National statistical series. [veebileht]
<http://www.ree.es/en/statistical-data-of-spanish-electrical-system/national-indicators/national-indicators> (21.04.2018)
14. POWER Magazine. Spain: A Renewable Kingdom. [veebileht]
www.powermag.com/spain-a-renewable-kingdom/ (21.04.2018)
15. Virtsu. Tahkuna tuulegeneraator. [veebileht]
virtsu.ee/vana/bka/projektid/tahkuna/index.html (22.04.2018)
16. Tuuleenergia Assotsiatsioon. Olemasolev tuuleenergia Eestis. [veebileht]
www.tuuleenergia.ee/about/statistika/olemasolev/
17. Tuuleenergia Assotsiatsioon. Tuuleenergia Eestis. [veebileht]
<http://www.tuuleenergia.ee/about/statistika/> (22.04.2018).
18. WindEurope. Wind in Power 2017: European Statistics. [veebileht]
<https://windeurope.org/about-wind/statistics/european/wind-in-power-2017/> (27.04.2018)
19. IEA Wind. Wind Energy in Denmark. [veebileht]
<https://community.ieawind.org/about/member-activities/denmark> (28.04.2018)
20. Wind Energy - The Facts. Denmark. [veebileht]
<https://www.wind-energy-the-facts.org/denmark.html> (28.04.2018)
21. IEA Wind. Wind Energy in Ireland. [veebileht]
<https://community.ieawind.org/about/member-activities/ireland> (30.04.2018)
22. SEAI. Wind Energy. [veebileht]
<https://www.seai.ie/sustainable-solutions/renewable-energy/wind-energy/> (30.04.2018)
23. Trading Economics. Surface area (sq. km) in Ireland. [veebileht]
<https://tradingeconomics.com/ireland/surface-area-sq-km-wb-data.html> (30.04.2018)
24. Trading Economics. Surface area (sq. km) in Denmark. [veebileht]
<https://tradingeconomics.com/denmark/surface-area-sq-km-wb-data.html> (30.04.2018)
25. IEA Wind. Wind Energy in Spain. [veebileht]
<https://community.ieawind.org/about/member-activities/spain> (01.05.2018)
26. Tuuleenergia Assotsiatsioon. Tuuleenergia Eestis – Arendamisel. [veebileht]
<http://www.tuuleenergia.ee/about/statistika/arendamisel/> (03.05.2018)
27. Tuuleenergia Assotsiatsioon. Aidu tuulepark ja Lügänuuse vald vaidlustasid halduskohtu määruse. [veebileht]
<http://www.tuuleenergia.ee/2018/05/aidu-tuulepark-ja-luganuse-vald-vaidlustasid-halduskohtu-maaruse/> (03.05.2018)

28. Tuuleenergia Assotsiatsioon. Tuuleparke võib tulevikus rajada üksnes kaitseministeeriumi eriloal. [veebileht]
<http://www.tuuleenergia.ee/2016/04/tuuleparke-voib-tulevikus-rajada-uksnes-kaitseministeeriumi-eriloal/> (03.05.2018)
29. Tuuleenergia Assotsiatsioon. Tuuleatlas. [veebileht]
<http://www.tuuleenergia.ee/about/statistika/tuuleatlas/> (03.05.2018)
30. Danish Wind Industry Association. The Danish Market. [veebileht]
www.windpower.org/en/knowledge/statistics/the_danish_market.html (05.05.2018)
31. Wind in power - 2009 European Statistics. (2010).
http://www.ewea.org/fileadmin/ewea_documents/documents/statistics/general_stats_2009.pdf (06.05.2018)
32. 32. Eesti Teaduste Akadeemia toimetised. (2002). /Toim. H. Aben, V. Kurnitski. Tallinn: Eesti Teaduste Akadeemia.

**Lihtlitsents lõputöö salvestamiseks ja üldsusele kättesaadavaks tegemiseks ning
juhendaja(te) kinnitus lõputöö kaitsmisele lubamise kohta**

Mina, Rait Valgma,
Sünniaeg 31.01.1996

1. annan Eesti Maaülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda koostatud lõputöö
Tuuleenergeetika Euroopas,
mille juhendaja on Andres Annuk, *PhD*

- 1.1. salvestamiseks säilitamise eesmärgil,
- 1.2. digiarhiivi DSpace lisamiseks ja
- 1.3. veebikeskkonnas üldsusele kättesaadavaks tegemiseks
kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni;
- 2. olen teadlik, et punktis 1 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile;
- 3. kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei rikuta teiste isikute intellektuaalomandi ega
isikuandmete kaitse seadusest tulenevaid õigusi.

Lõputöö autor _____
(allkiri)

Tartu, _____
(kuupäev)

Juhendaja(te) kinnitus lõputöö kaitsmisele lubamise kohta

Luban lõputöö kaitsmisele.

(juhendaja nimi ja allkiri)

(kuupäev)

(juhendaja nimi ja allkiri)

(kuupäev)